

高張力鋼板の製造方法

技術分野

この発明は、焼入れ・焼戻し材の強度・靱性バランスに優れる(高強度・高靱性、すなわち、横軸を強度、縦軸を破面遷移温度とした場合、時計の針で3時から6時の方向にシフトすることを強度・靱性バランスに優れると定義)高張力鋼板の製造方法に関するものである。特に、本発明は、溶接後に応力除去焼鈍処理(以下、PWH T(post welded heat treatment)という)がなされる高張力鋼板の製造方法に関し、焼入れ・焼戻し材の焼戻し処理時における板厚中心部の昇温速度を規定することによって、従来材よりもPWH T前とPWH T後の強度・靱性バランスに優れる高張力鋼板の製造方法に関するものである。

背景技術

近年、海洋構造物等の鋼構造の大型化やラインパイプの敷設コストの削減等の要求に対応するため、より強靱な鋼の開発が求められている。引張強度が約570 MPa(N/mm^2)以上の鋼は、焼入れによりマルテンサイトもしくはベイナイト変態を生じさせ、そのままでは靱性が劣っているため、その後の焼戻しによって過飽和固溶炭素の炭化物としての析出等を生じさせることによって、主として靱性の改善を図って実用に供される例が多い。

従来、このような焼入れ・焼戻し鋼板は、例えば、特公昭55-49131号公報等に記載されているように、圧延後そのまま直接焼入れを行い、その後、焼戻すことによって製造されてきた。

しかし、この技術における焼戻し処理の工程は、加熱および保持に多大な時間を要するために、焼入れの製造ラインとは別のラインで行わざるを得ず、このため、別ラインまでの鋼板の搬送等に冶金的には必ずしも必要でない時間を消費してしまうことから、生産性・製造費用の観点で改善の余地があった。

このような問題点を解決するために、特許第3015923号公報、特許第3015924号公報等に記載されているように、焼戻し処理を急速短時間とする

ことによって、焼戻し処理を焼入れ処理と同一の製造ライン上で行うことを可能とし、焼入れ・焼戻し鋼板の生産性を著しく高め、生産性・製造費用を改善すると共に、更に、材質の観点からも従来の焼入れ・焼戻し鋼板よりも強靱な高強度鋼の製造を可能とする発明がなされた。

しかし、上記特許第3015923号公報や特許第3015924号公報等に記載されている急速短時間焼戻し材も、寒冷地で使用される場合のような非常に厳しい靱性要求には対応できないという問題があり、より強靱な高強度鋼の製造方法が求められていた。

さらに、タンク・ペンストック等に用いられる高張力鋼板は、構造物作製時に施される溶接処理後にPWH Tを実施することによって、残留応力の緩和・溶接硬化部の軟化・水素逸散等を行い、構造物の変形や脆性破壊の発生の防止が図られる場合が多い。

近年、タンク・ペンストック等の鋼構造物の大型化が指向され、鋼材の高強度化・厚肉化のニーズが高揚している。しかし、鋼材を高強度化・厚肉化すると、PWH T条件もより高温かつ長時間の厳しい条件となる傾向があり、しばしば処理後の強度低下や靱性劣化を引き起こした。

このため、例えば、特開昭59-232234号公報、特開昭62-93312号公報、特公平9-256037号公報、特公平9-256038号公報等に、合金元素の最適化、加工熱処理技術の適用、またはPWH T前の熱処理の活用等によって、PWH T後の強度および靱性の優れた鋼板の製造方法が開示されている。

しかし、特開昭59-232234号公報、特開昭62-93312号公報、特公平9-256037号公報および特公平9-256038号公報等が開示されている方法によっても、寒冷地で使用される場合等に求められるPWH T後の厳しい強度・靱性特性には対応できないという問題があり、PWH T後の強度・靱性バランスがより優れた高張力鋼板の製造方法が求められていた。

発明の開示

この発明は、従来技術における上記問題点を克服すべく、特に焼入れ・焼戻し材の焼戻し処理時における板厚中心部の昇温速度を規定することによって、セメントサイトを微細分散析出させ、P W H T前およびP W H T後の強度・靱性の劣化の主な要因となる熱処理時のセメントサイトの凝集・粗大化を抑制して、P W H T前およびP W H T後の強度・靱性バランスが従来材よりも極めて優れた高張力鋼板の製造を可能とする方法を提供するものであり、その要旨とするところは次の通りである。

1. 質量%で、C : 0.02~0.18%、Si : 0.05~0.5%、Mn : 0.5~2.0%、Al : 0.005~0.1%、N : 0.0005~0.008%、P : 0.03%以下、S : 0.03%以下、残部 : Feおよび不可避免の不純物からなる鋼を鑄造後、 A_{r3} 変態点以下に冷却することなく、あるいは A_{c3} 変態点以上に再加熱し、所定の板厚に熱間圧延した後、引続き A_{r3} 変態点以上から直接焼入れ、あるいは加速冷却によって400℃以下の温度まで冷却した後、圧延機および直接焼入れ装置もしくは加速冷却装置と同一の製造ライン上に直結して設置された加熱装置を用いて、460℃から A_{c1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s以上として、板厚中心部の最高到達温度を520℃以上に焼戻すものである。

2. 質量%で、C : 0.02~0.18%、Si : 0.05~0.5%、Mn : 0.5~2.0%、Al : 0.005~0.1%、N : 0.0005~0.008%、P : 0.03%以下、S : 0.03%以下、残部 : Feおよび不可避免の不純物からなる鋼を鑄造後、 A_{r3} 変態点以下に冷却することなく、あるいは A_{c3} 変態点以上に再加熱し、所定の板厚に熱間圧延した後、引続き A_{r3} 変態点以上から直接焼入れ、あるいは加速冷却によって400℃以下の温度まで冷却し、この後、圧延機および直接焼入れ装置もしくは加速冷却装置と同一の製造ライン上に直結して設置された加熱装置を用いて、焼戻し開始温度から460℃までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s未満で、かつ460℃以上 A_{c1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s以上として、板厚中心部の最高到達温度を520℃以上に焼戻すものである。

3. 上記の1または2記載の発明において、質量%で、さらに、Cu：2%以下、Ni：4%以下、Cr：2%以下、Mo：1%以下の1種または2種以上を含有するものである。

4. 上記の1から3の何れか1つに記載の発明において、質量%で、さらに、Nb：0.05%以下、V：0.5%以下、Ti：0.03%以下の1種または2種以上を含有するものである。

5. 上記の1から4の何れか1つに記載の発明において、質量%で、さらに、B：0.003%以下、Ca：0.01%以下、REM：0.02%以下、Mg：0.01%以下の1種または2種以上を含有するものである。

6. 上記の1から5の何れか1つに記載の製造方法により製造された鋼板が、応力除去焼鈍用の高張力鋼板である。

図面の簡単な説明

図1：本発明の圧延設備および熱処理設備の一例である。

発明を実施するための最良の形態

この発明は、従来技術における前述の問題点を克服すべく、特に焼入れ・焼戻し材の焼戻し処理時における板厚中心部の昇温速度を規定することによって、セメンタイトを微細分散析出させ、PWH T前およびPWH T後の強度および~~一~~韌性の劣化の主な要因となるPWH Tによるセメンタイトの凝集・粗大化を抑制して、PWH T前およびPWH T後の強度・韌性バランスが従来材よりも極めて優れた高張力鋼板の製造を可能とする方法を提供するものである。

先ず、この発明における成分の限定理由について述べる。なお、化学成分組成割合を示す%は、何れも質量%である。

(C：0.02～0.18%)

Cは、強度を確保するために含有するが、0.02%未満ではその効果が不十分である。一方、0.18%を超えると母材および溶接熱影響部の韌性が劣化するとともに、溶接性が著しく劣化する。従って、C含有量を0.02～0.1

8%の範囲内に限定する。さらに、好適には、0.03～0.17%の範囲である。

(Si : 0.05～0.5%)

Siは、製鋼段階の脱酸材および強度向上元素として含有するが、0.05%未満ではその効果が不十分である。一方、0.5%を超えると、セメンタイトの生成を抑制する効果により、焼戻し温度を520℃以上としてもセメンタイトの十分な微細分散析出状態が得られず、PWH T前およびPWH T後の母材および溶接熱影響部の靱性が劣化する。従って、Si含有量を0.05～0.5%の範囲内に限定する。さらに、好適には、0.1～0.45%の範囲である。

(Mn : 0.5～2.0%)

Mnは、強度を確保するために含有するが、0.5%未満ではその効果が不十分である。一方、2.0%を超えると溶接熱影響部の靱性が劣化するとともに、溶接性が著しく劣化する。従って、Mn含有量を0.5～2.0%の範囲内に限定する。さらに、好適には、0.9～1.7%の範囲である。

(Al : 0.005～0.1%)

Alは、脱酸材として添加されると同時に、結晶粒径の微細化にも効果があるが、0.005%未満の場合にはその効果が十分でない。一方、0.1%を超えて含有すると、鋼板の表面疵が発生し易くなる。従って、Al含有量を0.005～0.1%の範囲内に限定する。さらに、好適には、0.01～0.04%の範囲である。

(N : 0.0005～0.008%)

Nは、Ti等と窒化物を形成することによって組織を微細化し、母材ならびに溶接熱影響部の靱性を向上させる効果を有するために添加するが、0.0005%未満では組織の微細化効果が十分にもたらされない。一方、0.008%を超える添加は固溶N量が増加するために母材および溶接熱影響部の靱性を損なう。従って、N含有量を0.0005～0.008%の範囲内に限定する。さらに、好適には、0.001～0.006%の範囲である。

(P : 0.03%以下、S : 0.03%以下)

P、Sは、何れも不純物元素であり、0.03%を超えると健全な母材および溶接継手を得ることができなくなる。従って、P、S含有量を0.03%以下に限定する。さらに、好適には、P、Sは、それぞれ0.02%以下、0.006%以下の範囲である。

この発明では、所望の特性に応じてさらに以下の成分を含有することができる。

(Cu：2%以下)

Cuは、固溶強化および析出強化により強度を向上する作用を有している。その効果を得るためには、0.05%以上が好ましい。しかしながら、Cu含有量が2%を超えると、鋼片加熱時や溶接時に熱間での割れを生じやすくする。従って、Cuを添加する場合には、その含有量を2%以下に限定する。さらに、好適には、0.1～1.8%の範囲である。

(Ni：4%以下)

Niは、靱性および焼入れ性を向上する作用を有している。その効果を得るためには、0.1%以上が好ましい。しかしながら、Ni含有量が4%を超えると、経済性が劣る。従って、Niを添加する場合には、その含有量を4%以下に限定する。さらに、好適には、0.2～3.5%の範囲である。

(Cr：2%以下)

Crは、強度および靱性を向上する作用を有しており、また、高温強度特性に優れる。その効果を得るためには、0.1%以上が好ましい。しかしながら、Cr含有量が2%を超えると、溶接性が劣化する。従って、Crを添加する場合には、その含有量を2%以下に限定する。さらに、好適には、0.2～1.8%の範囲である。

(Mo：1%以下)

Moは、焼入れ性および強度を向上する作用を有しており、また高温強度特性に優れる。その効果を得るためには、0.05%以上が好ましい。しかしながら、Mo含有量が1%を超えると、経済性が劣る。従って、Moを添加する場合には、その含有量を1%以下に限定する。さらに、好適には、0.1～0.9%の範囲である。

(Nb : 0.05%以下)

Nbは、マイクロアロイング元素として強度を向上させるために添加する。その効果を得るためには、0.005%以上が好ましい。しかしながら、0.05%を超えると溶接熱影響部の靱性を劣化させる。従って、Nbを添加する場合には、その含有量を0.05%以下に限定する。さらに、好適には、0.01～0.04%の範囲である。

(V : 0.5%以下)

Vは、マイクロアロイング元素として強度を向上させるために添加する。その効果を得るためには、0.01%以上が好ましい。しかしながら、0.5%を超えると溶接熱影響部の靱性を劣化させる。従って、Vを添加する場合には、その含有量を0.5%以下に限定する。さらに、好適には、0.02～0.4%の範囲である。

(Ti : 0.03%以下)

Tiは、圧延加熱時あるいは溶接時にTiNを生成し、オーステナイト粒の成長を抑制し、母材ならびに溶接熱影響部の靱性を向上させる。その効果を得るためには、0.001%以上が好ましい。しかしながら、その含有量が0.03%を超えると溶接熱影響部の靱性を劣化させる。従って、Tiを添加する場合には、その含有量を0.03%以下に限定する。さらに、好適には、0.002～0.025%の範囲である。

(B : 0.003%以下)

Bは、焼入れ性を向上する作用を有している。その効果を得るためには、0.0001%以上が好ましい。しかしながら、0.003%を超えると、靱性を劣化させる。従って、Bを添加する場合には、その含有量を0.003%以下に限定する。さらに、好適には、0.0002～0.0025%の範囲である。

(Ca : 0.01%以下)

Caは、硫化物系介在物の形態制御に不可欠な元素である。その効果を得るためには、0.0005%以上が好ましい。しかしながら、0.01%を超える添加は、清浄度の低下を招く。従って、Caを添加する場合には、その含有量を0.

0.1%以下に限定する。さらに、好適には、0.001~0.009%の範囲である。

(REM: 0.02%以下)

REMは、鋼中でREM (O、S) として硫化物を生成することによって結晶粒界の固溶S量を低減して耐SR割れ特性を改善する。その効果を得るためには、0.001%以上が好ましい。しかしながら、0.02%を超える添加は、清浄度の低下を招く。従って、REMを添加する場合には、その添加量を0.02%以下に限定する。さらに、好適には、0.002~0.019%の範囲である。

(Mg: 0.01%以下)

Mgは、溶銑脱硫材として使用する場合がある。その効果を得るためには、0.0005%以上が好ましい。しかしながら、0.01%を超える添加は、清浄度の低下を招く。従って、Mgを添加する場合には、その添加量を0.01%以下に限定する。さらに、好適には、0.001~0.009%の範囲である。

次に、この発明における好適な組織について、以下に述べる。

本発明の母材の組織は、引張強度が570MPa(N/mm²)以上、780MPa(N/mm²)未満の場合には、ベイナイトの体積率が50vol%以上で、残部がマルテンサイトを主体とする組織から構成され、また、引張強度が780MPa(N/mm²)以上の場合には、マルテンサイトの体積率が50vol%以上、残部がベイナイトを主体とする組織から構成されることが好ましい。なお、ベイナイトとマルテンサイト組織の体積率は、得られた鋼板から金属組織観察用試験片を採取し、圧延方向に平行な板厚断面を試薬で腐食し光学顕微鏡を用いてミクロ組織を200倍で観察し、各5視野撮像し、組織を同定し、さらに画像解析装置を用いてベイナイトとマルテンサイトの面積率を求め、5視野の平均をベイナイトとマルテンサイト組織の体積率とした。

また、この発明は、急速加熱焼戻しによるセメンタイトの微細分散析出に特徴を有するが、セメンタイトの平均粒子径が70nmを超えると強度・靱性バランスに劣るため、セメンタイトの平均粒子径は70nm以下が好ましく、さらに、

好適には、65 nm以下である方が良い。さらに、好適には、粒子径が350 nmを超えるセメンタイトは5000 nm四方の視野中にて3個以下が好ましく、さらに、好適には、2個以下である方が良い。

なお、セメンタイトの観察は、例えば、薄膜または抽出レプリカのサンプルを用いて、透過型電子顕微鏡にて行う。粒子径は、画像解析による円相当径にて評価し、平均粒子径は、任意の5視野以上の5000 nm四方の視野中で観察されるセメンタイトの粒子径を全て測定して、その単純平均値とする。

次に、この発明における製造条件の限定理由について述べる。

(鑄造条件)

この発明は、いかなる鑄造条件で製造された鋼材についても有効であるので、特に鑄造条件を限定する必要はない。

(熱間圧延条件)

鑄片を A_{r3} 変態点以下に冷却することなく、そのまま熱間圧延を開始しても、一度冷却した鑄片を A_{c3} 変態点以上に再加熱した後に熱間圧延を開始しても良い。これは、この温度域で圧延を開始すれば、この発明の有効性は失われないためである。なお、この発明においては、 A_{r3} 変態点以上で圧延を終了すれば、その他の圧延条件に関して特に規定するものではない。これは、 A_{r3} 変態点以上の温度の圧延であれば、再結晶域で圧延を行っても未結晶域で圧延を行っても、この発明の有効性は発揮されるためである。

(直接焼入れあるいは加速冷却)

熱間圧延終了後、母材強度および母材靱性を確保するため、 A_{r3} 変態点以上の温度から400℃以下まで強制冷却を施すことが必要である。鋼板の温度が400℃以下になるまで冷却する理由は、オーステナイトからマルテンサイトもしくはベイナイトへの変態を完了させ、母材を強化するためである。このときの冷却速度は、1℃/s以上とするのが好ましい。

(焼戻し装置の設置方法)

焼戻しは、圧延機および直接焼入れ装置もしくは加速冷却装置と同一の製造ライン上に直結して設置された加熱装置を用いて行うものとした。これは、直結化によって圧延・焼入れ処理から焼戻し処理までに要する時間を短くすることが可能となり、生産性の向上がもたらされるためである。図1に本発明の設備列の一例を示す。

(焼戻し条件－1)

焼入れ時には自動焼戻し（C量が低い材料は M_s （マルテンサイト変態）点が高温度となるため、冷却中に一部の過飽和なCがセメンタイトを形成する。このような冷却中に生じる焼戻し現象を自動焼戻しと呼ぶ。）によって若干のセメンタイトが生成する。この状態にある焼入れ材を 460°C から A_{c1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、好ましくは $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上と高速にして、 520°C 以上に焼戻すと、セメンタイトが旧オーステナイト粒界やラス境界のみではなく粒内にも析出することによって、セメンタイトが微細分散析出し、PWH T前およびPWH T後の強度・靱性の劣化の主な要因となるセメンタイトの凝集・粗大化が抑制され、この結果、PWH T前およびPWH T後の強度・靱性バランスが従来材よりも向上することが本発明者等による研究から明らかとされた。以上より、 460°C から A_{c1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上として、板厚中心部の最高到達温度を 520°C 以上に焼戻すこととした。

(焼戻し条件－2)

更に、本発明者等は、上記焼戻し条件－1によるセメンタイトの微細分散析出のメカニズムを詳細に調べた結果、自動焼戻しによって若干のセメンタイトが生成している焼入れ材を昇温した場合、鋼板の温度が 460°C までは自動焼戻しによって生じたセメンタイトが溶解し、 460°C を超えると旧オーステナイト粒界やラス境界からセメンタイトの核生成・成長が生じ、さらに鋼板の温度が 520°C を超えると、粒内からセメンタイトの核生成・成長が生じるようになるといった知見を得た。この知見を基に、 520°C 以上の焼戻し処理を行う場合には、焼戻し開始温度から 460°C までの板厚中心部の平均昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 未満と

低速にすることにより、焼入れ時に自動焼戻しによって生成したセメンタイトを十分に溶解させる時間を与え、更に、 460°C 以上 A_{c1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、好ましくは $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上と高速にすることによって、旧オーステナイト粒界やラス境界からのセメンタイトの核生成・成長をなるべく抑制し、 520°C 以上で生じる粒内からのセメンタイトの核生成・成長を促進させると、上記焼戻し条件－1によって焼戻し処理を施した場合よりも、更に微細なセメンタイトの分散析出状態が得られ、PWH T後の強度・靱性バランスが、焼戻し条件－1の場合と比較して向上する（具体的には、焼戻し条件1よりも焼戻し条件2の方が、PWH T前後の靱性がそれぞれより良くなる。）ことが実験的に検証された。

以上より、焼戻し開始温度から 460°C までの板厚中心部の平均昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 未満で、かつ 460°C 以上 A_{c1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上として、板厚中心部の最高到達温度を 520°C 以上に焼戻すこととした。

なお、この発明における鋼板の温度は、板厚中心部の位置での温度であり、鋼板表面の放射温度計等による実測温度から計算により管理される。

この発明は、転炉法・電気炉法等で溶製されたいかなる鋼や、連続鑄造・造塊法等で製造されたいかなるスラブについても有効であるので、特に鋼の溶製方法やスラブの製造方法を特定する必要は無い。

焼戻し時の加熱方式は、誘導加熱、通電加熱、赤外線輻射過熱、雰囲気加熱等、所要の昇温速度が達成される方式で良い。

焼戻し時における平均昇温速度の規定は、板厚中心部にて行ったが、板厚中心部近傍はほぼ同様の温度履歴となるため、板厚中心部のみに限定されるものではない。

また、焼戻し時の昇温過程は、所定の平均昇温速度さえ得られれば、この発明は有効であるので、直線的な温度履歴を取っても、途中の温度で滞留するような温度履歴を取っても構わない。したがって、平均昇温速度は、昇温開始温度と昇温終了温度の温度差を昇温に有した時間で除算することにより求められる。

焼戻し温度における保持は特に必要ではない。もし、保持する場合には、製造コストの増加や生産性の低下や析出物の粗大化に起因する靱性の劣化を防止すべく、60sec以下とすることが望ましい。

焼戻し後の冷却速度については、冷却中における析出物の粗大化に起因する靱性の劣化、または焼戻し不足による靱性の劣化を防止すべく、焼戻し温度 $\sim 200^{\circ}\text{C}$ までにおける板厚中心部の平均冷却速度を $0.05^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とすることが望ましい。

なお、昇温速度を変更する温度は 460°C が好ましいが、装置の精度や作業上の問題等から、この変更温度が $460^{\circ}\text{C} \pm 40^{\circ}\text{C}$ の $420^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ の範囲であっても、冷却開始温度 $\sim 460^{\circ}\text{C}$ 、 $460^{\circ}\text{C} \sim$ 焼戻し温度の平均昇温速度が本発明の所定の範囲を満足すればよい。

実施例

次に、この発明を実施例によって更に説明する。

表1に示す鋼A \sim Uを溶製してスラブに鋳造し、加熱炉で加熱後、圧延を行った。圧延後、引続き直接焼入れし、次いで、直列に設置した2台のソノレイド型誘導加熱装置を用いて、焼戻し開始から 460°C までは1台目の誘導加熱装置により、 460°C から所定の焼戻し温度までは2台目の誘導加熱装置にて連続的に焼戻し処理を行った（昇温速度を変更する温度： 460°C ）。また、板厚中心部の平均昇温速度は、鋼板の通板速度によって管理した。なお、焼戻し温度にて保持する場合には、鋼板を往復させて加熱することによって、 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の範囲内で保持を行った。また、加熱後の冷却は空冷とした。

さらに、上記焼入れ・焼戻し材に $(580 \sim 690^{\circ}\text{C}) \times (1\text{h} \sim 24\text{hr})$ の条件でPWHTを施した。加熱・冷却条件等は、JIS-Z-3700に準拠した。

表1に P_{cm} 、 A_{c_1} 変態点、 A_{c_3} 変態点、 A_{r_3} 変態点の値を併せて示し、表外にこれらの算出式を示す。

以上の鋼板製造条件を表2に、これらの製造条件で製造した鋼板の引張強度および板厚中心部の脆性・延性破面遷移温度（vTrs）を表3に示す。引張強度は、

全厚引張試験片により測定し、靱性は、板厚中心部より採取した試験片を用いたシャルピー衝撃試験によって得られる破面遷移温度 $vTrs$ で評価した。

材料特性の目標は、鋼A～FおよびM、NのPWHT前およびPWHT後の引張強度：570MPa以上、 $vTrs$ ：-50℃以下、鋼G～LおよびO～UのPWHT前およびPWHT後の引張強度：780MPa以上、 $vTrs$ ：-40℃以下で、かつ、鋼A～UのPWHT前とPWHT後の引張強度差：40MPa以内、 $vTrs$ 差：20℃以内とした。

表3から明らかなように、この発明法により製造した鋼板No. 1～20（本発明例）のPWHT前およびPWHT後の引張強度と $vTrs$ 、PWHT前とPWHT後の引張強度差と $vTrs$ 差は、何れも、目標値を満足している。

なお、本発明例である鋼板No. 9と10とを比較すると、焼戻し開始～460℃までの板厚中心部の平均昇温速度が1℃未満である鋼板No. 10は、これと同一成分で、焼戻し開始～460℃までの板厚中心部の平均昇温速度が1℃を超える鋼板No. 9と比べてPWHT前およびPWHT後の靱性値が向上している。同様に、本発明例である鋼板No. 11と12とを比較すると、鋼板No. 12は、鋼板No. 11と比べてPWHT前およびPWHT後の靱性値が向上している。焼戻し開始～460℃までの板厚中心部の平均昇温速度が1℃未満で焼戻し処理を施した場合は、更に微細なセメンタイトの分散析出状態が得られ、PWHT後においても引張強度と靱性バランスが更に向上することが確認された。

これに対して、比較例である鋼板No. 21～35は、PWHT前およびPWHT後の引張強度、PWHT前およびPWHT後の $vTrs$ 、PWHT前とPWHT後の引張強度差、PWHT前とPWHT後の $vTrs$ 差の内、少なくとも二つが上記目標範囲を外れている。以下、これらの比較例を個別に説明する。

化学成分が本発明範囲から外れている鋼板No. 21, 22, 23は、PWHT前およびPWHT後の引張強度、PWHT前およびPWHT後の $vTrs$ 、PWHT前とPWHT後の引張強度差、PWHT前とPWHT後の $vTrs$ 差の内、何れか二つの目標値を達成することが、出来なかった。

スラブ加熱温度が本発明範囲から外れている (A_{c3} 変態点未満の 800°C) 鋼板 No. 24 は、PWHT 前および PWHT 後の引張強度、PWHT 前および PWHT 後の $v\text{Trs}$ 、PWHT 前と PWHT 後の $v\text{Trs}$ 差が何れも目標値に達していない。

直接焼入れ開始温度が本発明範囲から外れている (A_{r3} 変態点未満の 730°C) 鋼板 No. 25 は、PWHT 前および PWHT 後の引張強度、PWHT 前および PWHT 後の $v\text{Trs}$ 、PWHT 前と PWHT 後の $v\text{Trs}$ 差が何れも目標値に達していない。

直接焼入れ停止温度が本発明範囲から外れている (400°C 超えの 450°C) 鋼板 No. 26 は、PWHT 前および PWHT 後の引張強度、PWHT 前および PWHT 後の $v\text{Trs}$ 、PWHT 前と PWHT 後の $v\text{Trs}$ 差が何れも目標値に達していない。

焼戻し開始～ 460°C までの平均昇温速度および 460°C ～焼戻し温度までの平均昇温速度の何れもが本発明範囲から外れている鋼板 No. 27, 28, 29, 30 は、PWHT 後の引張強度、PWHT 前および PWHT 後の $v\text{Trs}$ 、PWHT 前と PWHT 後の引張強度差、PWHT 前と PWHT 後の $v\text{Trs}$ 差が何れも目標値に達していない。

460°C ～焼戻し温度までの平均昇温速度が本発明範囲から外れている鋼板 No. 31, 32, 33, 34, 35 は、PWHT 前および PWHT 後の $v\text{Trs}$ 、PWHT 前と PWHT 後の引張強度差、PWHT 前と PWHT 後の $v\text{Trs}$ 差が何れも目標値に達していない。

産業上の利用可能性

この発明によれば、PWHT 前および PWHT 後の引張強度と靱性バランスに極めて優れた $570\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$ 以上の引張強度を有する高張力鋼板の製造が可能となる。したがって、本発明の高張力鋼板の製造方法は、PWHT をする高張力鋼板の製造に適用できることは、もとより、PWHT をしない高張力鋼板の製造にも適用できるものである。

表1(その1)

(mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Ti	B	Ca	Al	T.N	Pcm	Ac1	Ac3	Ar3	備考
A	0.08	0.20	1.31	0.011	0.001	0.00	0.00	0.00	0.05	0.012	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.031	0.0025	0.16	709	830	776	本 発 明 例
B	0.15	0.34	1.35	0.018	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.028	0.0029	0.23	712	823	756	
C	0.09	0.26	1.45	0.014	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.021	0.041	0.008	0.0000	0.0000	0.022	0.0037	0.18	708	829	766	
D	0.09	0.29	0.92	0.014	0.008	0.18	0.09	0.16	0.14	0.000	0.082	0.000	0.0012	0.0000	0.030	0.0030	0.19	719	836	786	
E	0.11	0.33	1.22	0.012	0.005	0.38	0.19	0.35	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.0000	0.027	0.0031	0.23	719	828	755	
F	0.06	0.47	0.62	0.011	0.001	0.15	0.45	1.45	0.52	0.000	0.000	0.005	0.0008	0.0000	0.025	0.0037	0.23	752	845	751	
G	0.15	0.34	1.22	0.018	0.004	0.00	0.00	0.06	0.05	0.022	0.008	0.009	0.0009	0.0000	0.024	0.0024	0.23	715	825	761	
H	0.14	0.33	1.20	0.014	0.005	0.00	0.00	0.09	0.14	0.022	0.020	0.013	0.0010	0.0000	0.032	0.0030	0.23	716	826	758	
I	0.08	0.26	0.93	0.007	0.008	0.21	1.21	0.53	0.33	0.010	0.050	0.000	0.0000	0.0000	0.033	0.0031	0.22	711	816	706	
J	0.09	0.21	1.09	0.005	0.002	0.17	1.52	0.28	0.48	0.012	0.050	0.000	0.0000	0.0000	0.028	0.0046	0.24	697	804	665	
K	0.09	0.27	0.77	0.002	0.001	0.00	3.07	0.51	0.50	0.000	0.112	0.000	0.0000	0.0000	0.052	0.0035	0.26	686	783	604	
L	0.09	0.18	1.45	0.009	0.003	0.19	2.25	0.42	0.48	0.010	0.042	0.000	0.0000	0.0000	0.027	0.0037	0.27	684	785	594	

Pcm = C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Mo/15+Ni/60+V/10+5B

Ac1(°C) = 723-14Mn+22Si-14.4Ni+23.3Cr

Ac3(°C) = 854-180C+44Si-14Mn-17.8Ni-1.7Cr

Ar3(°C) = 910-310C-80Mn-20Cu-15Cr-55Ni-80Mo

表1(その2)

(mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Ti	B	Ca	Al	T.N	Pcm	備考			比較例
																		Ac1	Ac3	Ar3	
M	0.02	0.42	1.50	0.029	0.028	0.30	0.32	0.19	0.25	0.020	0.041	0.011	0.0000	0.0000	0.035	0.0078	0.16	711	842	737	本発明例
N	0.09	0.18	1.34	0.009	0.001	0.00	0.00	0.11	0.21	0.022	0.000	0.018	0.0000	0.0000	0.030	0.0032	0.18	711	827	756	
O	0.12	0.41	1.48	0.013	0.002	0.00	0.00	0.53	0.38	0.019	0.045	0.011	0.0009	0.0000	0.033	0.0038	0.27	724	829	716	
P	0.18	0.42	1.12	0.005	0.001	0.26	0.27	0.33	0.64	0.018	0.042	0.010	0.0011	0.0000	0.028	0.0022	0.34	720	819	688	
Q	0.15	0.50	1.98	0.011	0.003	0.99	0.46	0.56	0.78	0.049	0.496	0.012	0.0013	0.0100	0.095	0.0029	0.46	713	812	589	
R	0.18	0.05	0.51	0.013	0.001	1.98	3.98	1.98	0.98	0.020	0.045	0.030	0.0030	0.0027	0.005	0.0005	0.56	706	742	447	比較例
S	0.08	0.56	2.15	0.011	0.004	0.00	0.00	0.00	0.23	0.021	0.000	0.012	0.0000	0.0000	0.029	0.0037	0.22	705	834	695	
T	0.14	0.03	1.23	0.012	0.003	0.30	0.29	0.33	0.12	0.022	0.000	0.010	0.0000	0.0000	0.029	0.0041	0.25	710	807	732	
U	0.13	0.42	1.55	0.013	0.035	0.00	0.00	0.49	0.45	0.023	0.049	0.011	0.0013	0.0000	0.003	0.0032	0.29	722	827	702	

下線部:発明範囲外

Pcm = $C+Si/30+(Mn+Cu+Cr)/20+Mo/15+Ni/60+V/10+5B$

Ac1(°C) = $723-14Mn+22Si-14.4Ni+23.3Cr$

Ac3(°C) = $854-180C+44Si-14Mn-17.8Ni-1.7Cr$

Ar3(°C) = $910-310C-80Mn-20Cu-15Cr-55Ni-80Mo$

表2(その1)

NO.	鋼種	板厚 (mm)	スラブ 加熱温 度(°C)	直接焼 入れ開 始温度 (°C)	直接焼 入れ停 止温度 (°C)	焼戻し 開始温 度(°C)	焼戻し 温度 (°C)	焼戻し開始～ 460°Cまでの 板厚中心部の 平均昇温速度 (°C/s)	460°C～焼戻 し温度までの 板厚中心部の 平均昇温速度 (°C/s)	焼戻し温 度での保 持時間 (s)	保持後の焼 戻し温度～ 200°Cまでの 平均冷却速 度(°C/s)	PWHT条 件	備考
1	A	10	1150	830	170	140	550	0.9	1.2	0	1	580°C×1h	本発明例
2	B	25	1130	810	100	80	550	0.8	2.0	0	0.3	620°C×1h	本発明例
3	C	25	1130	850	180	150	600	0.1	20.0	0	0.3	660°C×1h	本発明例
4	D	25	1100	830	50	40	600	0.3	15.0	0	0.3	620°C×2h	本発明例
5	E	25	1050	820	170	140	600	0.5	52.0	0	0.3	620°C×4h	本発明例
6	F	25	1200	830	50	40	650	2.0	1.5	10	0.3	690°C×24h	本発明例
7	G	30	1100	850	130	100	680	0.7	10.0	60	0.25	620°C×16h	本発明例
8	H	40	1130	820	170	140	680	0.5	6.0	0	0.22	660°C×4h	本発明例
9	I	50	1150	830	380	350	650	5.5	5.5	0	0.2	660°C×4h	本発明例
10	I	50	1150	830	380	350	650	0.3	5.5	0	0.2	660°C×4h	本発明例
11	J	60	1130	850	100	80	550	4.0	4.0	0	0.18	660°C×4h	本発明例
12	J	60	1130	850	100	80	550	0.5	4.0	0	0.18	660°C×4h	本発明例
13	K	70	1100	820	300	270	650	0.6	1.8	0	0.15	660°C×4h	本発明例
14	L	100	1150	830	160	130	620	0.6	1.5	0	0.08	660°C×4h	本発明例
15	M	80	1120	850	330	300	600	0.5	1.3	0	0.12	660°C×4h	本発明例
16	N	25	1200	830	50	40	650	0.6	23.0	10	0.3	660°C×4h	本発明例
17	O	25	1100	850	140	110	640	0.3	3.5	0	0.3	660°C×4h	本発明例

表2(その2)

NO.	鋼種	板厚 (mm)	スラブ 加熱温度(°C)	直接焼 入れ開始 温度(°C)	直接焼 入れ停止 温度(°C)	焼戻し 開始温度 (°C)	焼戻し 温度 (°C)	焼戻し開始～ 460°Cまでの 板厚中心部の 平均昇温速度 (°C/s)	460°C～焼 戻し温度ま での板厚中 心部の平均 昇速度 (°C/s)	焼戻し温 度での保 持時間 (s)	保持後の焼 戻し温度～ 200°Cまでの 平均冷却速 度(°C/s)	PWHT条 件	備考
18	P	10	1070	830	150	120	630	0.4	23.0	0	1	660°C×4h	本発明例
19	Q	8	1030	830	110	90	630	0.3	115.0	0	1.4	650°C×4h	本発明例
20	R	6	1050	780	70	60	620	0.2	120.0	0	1.6	660°C×4h	本発明例
21	S	12	1120	840	160	130	640	0.3	15.0	0	0.9	650°C×4h	比較例
22	T	16	1140	850	110	90	550	0.5	13.5	0	0.7	620°C×4h	比較例
23	U	20	1100	820	140	110	630	0.6	11.0	0	0.5	640°C×4h	比較例
24	A	10	800	830	170	140	550	0.9	1.2	0	1	580°C×1h	比較例
25	B	25	1130	730	100	80	550	0.8	2.0	0	0.3	620°C×1h	比較例
26	C	25	1130	850	450	150	600	0.1	20.0	0	0.3	660°C×1h	比較例
27	D	25	1100	830	50	40	600	1.1	0.6	0	0.3	620°C×2h	比較例
28	E	25	1050	820	170	140	600	1.3	0.5	0	0.3	620°C×4h	比較例
29	F	25	1200	830	50	40	650	2.0	0.4	10	0.3	690°C×24h	比較例
30	G	30	1100	850	130	100	680	20.0	0.3	60	0.25	620°C×16h	比較例
31	H	40	1130	820	170	140	680	0.5	0.9	0	0.22	660°C×4h	比較例
32	I	50	1150	830	380	350	650	0.5	0.7	0	0.2	660°C×4h	比較例
33	J	60	1130	850	100	80	550	0.5	0.5	0	0.18	660°C×4h	比較例
34	K	70	1100	820	300	270	650	0.6	0.2	0	0.15	660°C×4h	比較例
35	L	100	1150	830	160	130	620	0.6	0.1	0	0.08	660°C×4h	比較例

下線部：発明範囲外

表3(その1)

NO.	鋼種	板厚 (mm)	PWHT前		PWHT後		【PWHT後】-【PWHT前】の特性差		備考
			引張強度 (MPa)	板厚中心部 vTrs(°C)	引張強度 (MPa)	板厚中心部 vTrs(°C)	引張強度 (MPa)	板厚中心部 vTrs(°C)	
1	A	10	641	-110	650	-107	9	3	本発明例
2	B	25	647	-105	651	-101	4	4	本発明例
3	C	25	615	-83	610	-80	-5	3	本発明例
4	D	25	617	-79	613	-77	-4	2	本発明例
5	E	25	610	-87	605	-84	-5	3	本発明例
6	F	25	630	-66	612	-66	-18	0	本発明例
7	G	30	841	-90	820	-82	-21	8	本発明例
8	H	40	836	-86	830	-81	-6	5	本発明例
9	I	50	824	-65	821	-62	-3	3	本発明例
10	I	50	824	-76	821	-74	-3	2	本発明例
11	J	60	992	-61	970	-59	-22	2	本発明例
12	J	60	992	-70	970	-70	-22	0	本発明例
13	K	70	997	-65	965	-63	-32	2	本発明例
14	L	100	1011	-60	992	-59	-19	1	本発明例
15	M	80	634	-67	631	-66	-3	1	本発明例
16	N	25	624	-85	611	-82	-13	3	本発明例
17	O	25	1151	-77	1143	-73	-8	4	本発明例

表3(その2)

NO.	鋼種	板厚 (mm)	PWHT前		PWHT後		【PWHT後】-【PWHT前】の特性差		備考
			引張強度 (MPa)	板厚中心部 vTrs(°C)	引張強度 (MPa)	板厚中心部 vTrs(°C)	引張強度 (MPa)	板厚中心部 vTrs(°C)	
18	P	10	1297	-68	1289	-66	-8	2	本発明例
19	Q	8	1348	-51	1341	-48	-7	3	本発明例
20	R	6	1567	-52	1537	-45	-30	7	本発明例
21	S	12	963	-26	951	-20	-12	6	比較例
22	T	16	980	-67	967	-35	-13	32	比較例
23	U	20	1053	-23	1037	-18	-16	5	比較例
24	A	10	514	-45	520	-22	6	23	比較例
25	B	25	530	-40	540	-18	10	22	比較例
26	C	25	552	-35	520	-9	-32	26	比較例
27	D	25	610	-32	554	-11	-56	21	比較例
28	E	25	605	-41	523	-18	-82	23	比較例
29	F	25	620	-24	560	-1	-60	23	比較例
30	G	30	847	-29	768	0	-79	29	比較例
31	H	40	840	-23	782	-1	-58	22	比較例
32	I	50	850	-33	790	-2	-60	31	比較例
33	J	60	990	-32	917	5	-73	37	比較例
34	K	70	1001	-25	905	12	-96	37	比較例
35	L	100	1015	-17	911	10	-104	27	比較例

下線部:特性値目標外

請求の範囲

1. 質量%で、C：0.02～0.18%、Si：0.05～0.5%、Mn：0.5～2.0%、Al：0.005～0.1%、N：0.0005～0.008%、P：0.03%以下、S：0.03%以下、残部：Feおよび不可避的不純物からなる鋼を鑄造後、 A_{r_3} 変態点以下に冷却することなく、あるいは A_{c_3} 変態点以上に再加熱し、所定の板厚に熱間圧延した後、引き続き A_{r_3} 変態点以上から直接焼入れ、あるいは加速冷却によって400℃以下の温度まで冷却した後、圧延機および直接焼入れ装置もしくは加速冷却装置と同一の製造ライン上に直結して設置された加熱装置を用いて、460℃から A_{c_1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s以上として、板厚中心部の最高到達温度を520℃以上に焼戻す高張力鋼板の製造方法。
2. 質量%で、C：0.02～0.18%、Si：0.05～0.5%、Mn：0.5～2.0%、Al：0.005～0.1%、N：0.0005～0.008%、P：0.03%以下、S：0.03%以下、残部：Feおよび不可避的不純物からなる鋼を鑄造後、 A_{r_3} 変態点以下に冷却することなく、あるいは A_{c_3} 変態点以上に再加熱し、所定の板厚に熱間圧延した後、引き続き A_{r_3} 変態点以上から直接焼入れ、あるいは加速冷却によって400℃以下の温度まで冷却し、この後、圧延機および直接焼入れ装置もしくは加速冷却装置と同一の製造ライン上に直結して設置された加熱装置を用いて、焼戻し開始温度から460℃までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s未満で、かつ460℃以上 A_{c_1} 変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s以上として、板厚中心部の最高到達温度を520℃以上に焼戻す高張力鋼板の製造方法。
3. 質量%で、さらに、Cu：2%以下、Ni：4%以下、Cr：2%以下、Mo：1%以下の1種または2種以上を含有する請求項1または2に記載の高張力鋼板の製造方法。

4. 質量%で、さらに、 Nb : 0.05%以下、 V : 0.5%以下、

Ti : 0.03%以下の1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1から3の何れか1つに記載の高張力鋼板の製造方法。

5. 質量%で、さらに、 B : 0.003%以下、 Ca : 0.01%以下、

REM : 0.02%以下、 Mg : 0.01%以下の1種または2種以上を含有する請求項1から4の何れか1つに記載の高張力鋼板の製造方法。

6. 請求項1から5の何れか1つに記載の製造方法により製造された鋼板が、応力除去焼鈍用の高張力鋼板である。

要約書

焼入れ・焼戻し材の焼戻し処理時における板厚中心部の昇温速度を規定することによって、従来材よりもP W H T前およびP W H T後の引張強度と靱性バランスに優れた570MPa(N/mm²)以上の引張強度を有する高張力鋼板の製造方法を提供する。具体的には、質量%で、C:0.02~0.18%、Si:0.05~0.5%、Mn:0.5~2.0%、Al:0.005~0.1%、N:0.0005~0.008%、P:0.03%以下、S:0.03%以下、残部:Feおよび不可避免の不純物からなる鋼を鑄造後、A_r₃変態点以下に冷却することなく、あるいはA_c₃変態点以上に再加熱し、所定の板厚に熱間圧延した後、引き続きA_r₃変態点以上から直接焼入れ、あるいは加速冷却によって400℃以下の温度まで冷却した後、圧延機および直接焼入れ装置もしくは加速冷却装置と同一の製造ライン上に直結して設置された加熱装置を用いて、460℃からA_c₁変態点以下の所定の焼戻し温度までの板厚中心部の平均昇温速度を1℃/s以上として、板厚中心部の最高到達温度を520℃以上に焼戻す。

图1

